

## Türkiye'nin Deprem Riski Yüksek Jeo-Stratejik "ancak tektonik rejimleri farklı" Bölgelerinde Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yaklaşımlarla Araştırılması (TÜRDEP) Projesi

**Projenin Amacı:** Marmara'da deprem araştırmaları konusunda yapılan sürekli gözlem çalışmalarının genişletilerek yoğunlaştırılması ve kritik bölgelerde yeni tekniklerin uygulanması yanı sıra, Marmara bölgesinde kazanılan deneyimin uygulayıcı kuruluş olan Bayındırlık Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü / T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı ve üniversitelerle işbirliği içinde ülke çapında deprem riski yüksek diğer alanlara aktarılmasıdır. Bu amaçla Türkiye'de var olan deprem araştırma geliştirme kapasitesini faaliyete geçirecek ve geliştirecek şekilde tasarlanan bu projede çok parametrelili gözlem ağları, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFS) ve Ege Açılma Sistemi (EAS) üzerinde kurulan ve entegre bir sistem içinde farklı tektonik rejimleri temsil eden bölgelerdeki deprem aktiviteleri gözlem altına alınmıştır. Bu üç bölgede oluşturulan gözlem ağları üzerinde kesintisiz ve uzun dönem (yıllar boyunca) yapılacak gözlemlerin yorumlanması ve modellenmesi ile gerçekleştirilecek zaman bağımlı risk analizleri, büyük yatırımların planlanması ve beklenen olası deprem (veya depremler) öncesi yapılması gereken önlem alma ve planlama ile afet koordinasyonunun sağlanması gibi hayati önemi olan çalışmalara olanak sağlayacaktır.

### PROJEDE ERİŞİLECEK ÇIKTILAR:

1. Marmara Bölgesi, Ege Bölgesi ve Doğu Anadolu Fay zonunu içine alan ve Doğu Akdenizden başlayarak Bingöl -Karlıova'ya kadar uzanan bölge boyunca seçilecek "öncelikli pilot ve farklı tektonik rejimleri temsil edebilecek" bölgelerde, depremi daha iyi anlamaya "kestirmeye" yönelik metodların çok disiplinli yaklaşımlarla (makro ve mikrosismoloji, radon gazı ve su kaynakları yoğunluklu jeokimyasal gözlemler ile GPS, tilt, interferometri ve strainmeter gözlemleri) ve çoğunlukla "online" çalışılması ile elde edilecek bilgilerin veri füzyonu ile değerlendirilmesi yanısıra bu ölçümler sayesinde (kayma hızı, aktif fay uzunluğu ve genişliği gibi) deprem üretecek kabuk deformasyonlarının modellenmesi çalışmaları başlatılmıştır.
2. Sözü edilen bölgelerde yer alan yoğun yerleşim merkezlerine (DAFZ üzerinde Adana, K.Maraş, Elazığ, Bingöl; Marmara'da İstanbul, Kocaeli, Tekirdağ; Ege bölgesinde İzmir, Aydın il merkezleri gibi) yakın fay zonlarının detaylı sismolojik (mikrosismolojik) gözlem ile günlük bazda izlenmesi gerçekleştirilmekte ve bu gözlemlerle gerçek zamanda deprem kümeleşmeleri (swarm) gibi anormal aktiviteler izlenmektedir.
3. Yukarıda sözü edilen bölgelerde yer alan yoğun yerleşim merkezlerinde zemin litolojisini temsil edecek alan ve noktalarda yer büyüme etkisinin "makro ölçekte yerleşime uygunluk haritalarının oluşturulmasında ve meydana gelecek yakın deprem sırasında afet koordinasyon biriminin hızlı hasar tahminlerinde kullanılabilmesi için" ölçüm yolu ile belirlenmiştir.
4. Toplanan verilerin sorgulanabilir Coğrafi Bilgi Sistemleri veri tabanına işlenmesi ve farklı kamu kurumlarının ve işbirliği içinde olunan üniversitelerin kullanımı için bu veri tabanı günlük güncellenmektedir.
5. Radon Ölçüm tekniklerinin ve amaç odaklı yeni ölçüm sensörlerinin geliştirilmesi çalışmaları yürütülmekte ve ticari uygulamalara altlık oluşturulmaktadır.
6. Proje sonucunda ülke çapında uluslararası seviyede, deprem riski yüksek bölgelere hedeflenmiş olarak deprem çalışmaları gerçekleştirecek ve "deprem kestirimi" konusunda önemli bir mesafe katedilmiş olacaktır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü / T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı başta olmak üzere, halihazırda oluşturulmuş işbirlikleri çerçevesinde, diğer son kullanıcılara (merkezi ve yerel idarelere) sağlıklı ve sürekli veri/bilgi aktarabilecek bir sistem kurulmuştur. Bunun yanısıra, ulusal Ar-Ge kapasitesi harekete geçirilerek, proje kapsamında işbirliği yapılacak üniversitelerde bu çalışma konularında bilgi birikimi sağlanacak ve gelecekteki çalışmalar için "ulusal çapta bilgi birikimi" elde edilmiş olacaktır.
7. Sosyal yararlar bakımından, deprem konusunda gerekli hallerde duyuru yapacak kamu kurumunun (örneğin T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı) güncel ve yaygın veriye dayalı bilgilerle donatılması kamuoyunun tedirgin ve şüpheli yaklaşımının ortadan kaldırılmasına ve güven duyulan bir platformun oluşturulmasına ve dolayısı ile toplumsal düzenin sağlanması ve sürdürülmesi çabalarında önemli katkılar sağlayacaktır.

**Destekleyen Kuruluşlar:** TÜBİTAK, TARAL 1007 Programı

**Müşteri Kurum:** T.C. BİB Afet İşleri Genel Müdürlüğü / T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı

**Projenin Yürütüldüğü Kurum:** TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü

**Proje Kapsamında İşbirliği Yapılan Kurum:** T.C. BİB Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi / T.C.

Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı Deprem Dairesi

**Proje Süresi:** 01.11.2005 - 30.10.2010

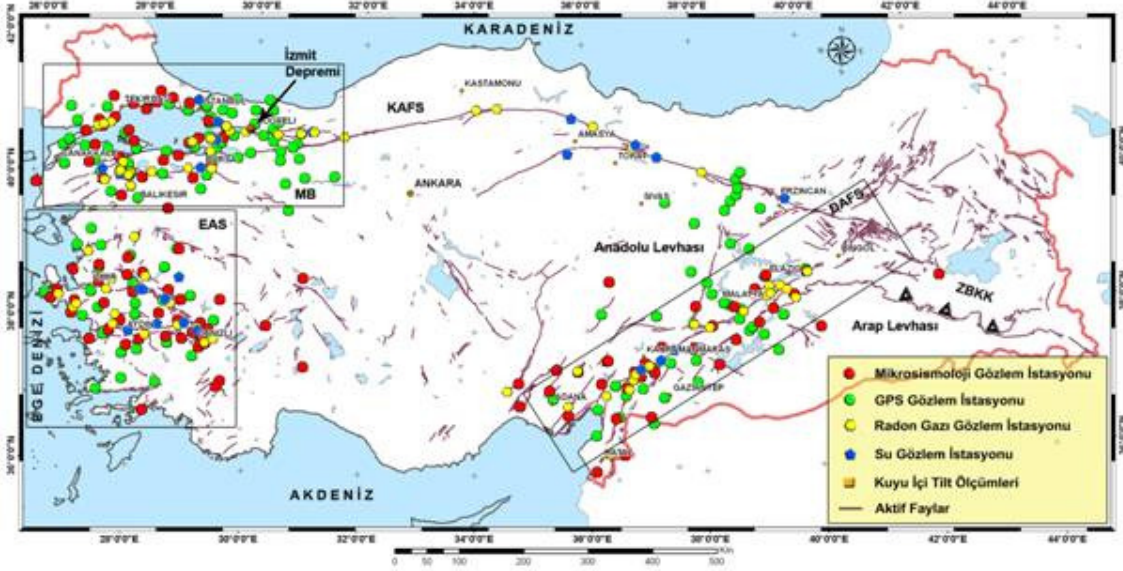
**Proje Kapsamında İşbirliği Yapılan Üniversiteler:**

- 1- Boğaziçi Üniv. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
- 2- Cumhuriyet Üniversitesi
- 3- Çukurova Üniversitesi
- 4- Dicle Üniversitesi
- 5- Dokuz Eylül Üniversitesi
- 6- Ege Üniversitesi
- 7- Fırat Üniversitesi
- 8- Hacettepe Üniversitesi

- 9- İnönü Üniversitesi
- 10- İstanbul Teknik Üniversitesi
- 11- Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
- 12- Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
- 13- Süleyman Demirel Üniversitesi
- 14- Yıldız Teknik Üniversitesi

**PROJENİN KAPSAMI:**

Proje kapsamında KAFS, EAS ve DAFZ olmak üzere **Şekil 1**'deki Türkiye Aktif fay haritasında gösterilen "deprem riski yüksek" ana bölgelerde uzun süreli çok parametrelili gözlem çalışmaları ve bunların entegrasyonlarının yapılması hedeflenmektedir. Her bölge için detay gözlem noktaları haritaları **Şekil 2**, **Şekil 3**, **Şekil 4**'te verilmiştir. Ancak, diri fay uzunlukları ve bu fayların geçtiği tektonik rejimler ile deprenselliklerine yönelik mevcut bilgiler ışığında, gerekli alt yapı kabaca planlanabilmektedir. Bu alt yapının bölge özelliğinde kullanım yeri ve yoğunluğu projenin ilk iş paketi olarak yapılan ön çalışmalar (literatür çalışmaları ve arazi çalışmaları) sonrası ve bilimsel çalışma gereklerine göre kesinleştirilmiştir.



**Şekil 1:** Proje kapsamında deprem riski yüksek bölgelerde uzun süreli, sürekli ve çok parametrelili gözlemlerin yapıldığı noktalar. Oluşturulan ölçüm ağları ve veri toplama süreçleri aşağıdaki parametreleri kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiş ancak bunlarla sınırlı kalmamıştır.

**1- Karada Yüksek Duyarlı Sismolojik Gözlemler (mikro sismoloji)**

Marmara Bölgesinde TÜBİTAK MAM'ın makro sismoloji için yeterli yoğunlukta sismolojik ağı uzun yıllardır çalıştırılmaktadır. Bu ağı Ulusal sismolojik ağı gereksinim duyulan istasyon sayısı verileri ile katkı sağlayacaktır. Ancak, büyük deprem üretebilecek diri faylara yakın yoğun yerleşim merkezlerinde bu fay segmentleri üzerindeki hareketliliğin sürekli ve detaylı (küçük depremleri de izleyecek şekilde) mikro sismolojik ağlar ile izlenmesi gerekmektedir. Bu anlamda İstanbul, Tekirdağ, Kocaeli il merkezlerine yakın fay segmentlerini sürekli izleyecek mikrosismolojik istasyonlardan oluşan ağı kurulmuştur.

Doğu Anadolu fay Zonu (DAFS - Hatay ilinden Elazığ'a kadarki alan) üzerinde yine makro sismolojik gözlem ağının Ulusal Sismolojik ağı ile entegre bir şekilde oluşturulması planlanmıştır. Ancak, büyük deprem üretebilecek diri faylara yakın yoğun yerleşim merkezlerinde bu fay segmentleri üzerindeki hareketliliğin sürekli ve detaylı (küçük depremleri de izleyecek şekilde) mikro sismolojik ağlar ile izlenmesi gerekmektedir. Bu anlamda Adana, K. Maraş, ve Elazığ il merkezlerine yakın fay segmentlerini sürekli izleyecek mikrosismolojik ağı kurulmuştur.

Ege Açılma Sistemi (EAS- Kuzey'de Manisa'dan Güneyde Aydın ilini için alan) üzerinde yine makro sismolojik gözlem ağının Ulusal Sismolojik ağı ile entegre bir şekilde oluşturulması planlanmıştır. Ancak, büyük deprem üretebilecek diri faylara yakın yoğun yerleşim merkezlerinde bu fay segmentleri üzerindeki hareketliliğin sürekli ve detaylı (küçük depremleri de izleyecek şekilde) mikro sismolojik ağlar ile izlenmesi gerekmektedir. Bu anlamda İzmir il merkezlerine yakın fay segmentlerini sürekli izleyecek mikrosismolojik ağı kurulmuştur.

**2- Jeokimyasal (Radon gazı ve kaynak suyu) Gözlemler**

Marmara Bölgesinde (Çanakkale'den Düzce iline kadarki alanda), TÜBİTAK MAM'ın yoğun radon gazı gözlem (16 noktada) ve kaynak suyu gözlem (10 noktada) ağları proje öncesi dönemde (2001-2005 yılları arasında) işletilmiş ve kapsam genişletilerek çalıştırılmaktadır. Bu gözlem ağları ile sürekli ve sistematik toplanan verilerin sismolojik aktivite ışığında sürekli değerlendirilmesi ile depremi kestirmeye yönelik önemli bir bilgi birikimi elde edilmiştir. Dünyada mevcut radon gazı ölçüm teknolojisinin halen yetersiz olduğu hususlar, Marmara bölgesindeki çalışmalar sayesinde, tespit edilmiş ve daha gürbüz (robust) ölçüm sensörlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar bu proje kapsamında planlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

DAFS, KAFS (Amasya-Erzincan arası) ve EAS üzerinde de radon gazı ve kaynak suyu gözlemlerinin aynı standartlarda yapılması gerekmektedir. Marmara bölgesi, farklı tektonik rejimlerde (sıkışmalı, açılmalı, yada yanatım tektoniği ile jeotermal alanlar) gözlem yapmaya elverişlidir. Bu bölgeden elde edilen deneyimler, radon gazı hareketi ile sismik aktivite ilişkisinin bazı tektonik alanlarda (sıkışmalı fay, yada jeotermal bölgelerde) diğerlerine göre daha net ve güvenilir olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenlerle, radon gazı gözlemlerinin daha yaygın bir metod olarak uygulanabilirliğinin ve güvenilirliğinin test ve teyid edilmesi amacı ile diğer tekniklerle birlikte DAFS, KAFS ve EAS'ta yapılması bir kararlaştırılmış ve buna göre çalışmalar başlatılmıştır.

**3- Depreme yol açan kabuk deformasyonlarının GPS, InSAR, mikrogravite, tilt ve strain ölçerlerle izlenmesi**  
Marmara Bölgesinde (Çanakkale'den Düzce iline kadarki alanda), TÜBİTAK MAM'ın yoğun sürekli GPS ağı ve bunları destekleyen geçici GPS kampanya ölçümleri son 4 yıldır işletilmiş/gerçekleştirilmiştir. Kampanya ölçümleri sayesinde arttırılan ölçüm noktaları ve özellikle fay sistemine dik profiller boyunca alınan ölçümler, fay üzerinde stress birikiminden dolayı meydana gelen deformasyonu ve depreme neden olabilecek fayın kilimli bölgelerini tespit etmek çabalarında önemli katkılar sağlamaktadır. Marmara Bölgesinde noktasal bazda GPS ve bölgesel bazda InSAR ağırlıklı sürdürüle gelen kabuk deformasyonu çalışmalarının, tamamlayıcı nitelikte olan mikrogravite, tilt ve strain ölçerler ile sürdürülmesi gerekmektedir.

Bu proje kapsamında Marmara Bölgesinde yeni ölçüm teknikleri ile detaylandırılması ve yaygınlaştırılması hedeflenen kabuk deformasyonu çalışmalarının yine aynı nedenler ile DAFS, KAFS ve EAS üzerinde yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu bölgeler için yapılan literatür ve ön arazi çalışmaları sayesinde bu ölçümlerin yoğunlaştırılacağı alt bölgeler (pilot alanlar) tanımlanmış ve sismolojik gözlemler ile radon gazı ve kaynak suyu gözlemlerini destekleyebilecek nitelikte kabuk deformasyonu gözlem çalışmalarına başlanmıştır. Farklı kuruluşlar bu bölgelerde büyük ölçekte levha hızlarının tanımlanmasına yönelik kısa dönemli ve sistematik olmayan GPS ölçümleri gerçekleştirmiştir. Bunların çıktılarında gözlem noktaları oluşturulurken kullanılmıştır. Balıkesir İli Gönen İlçesinde pilot amaçlı 4 adet kuyu içi tilt ölçüm istasyonu ile kabuk deformasyonu çalışmaları başlatılmıştır. Benzer şekilde K.Maraş İli Türkoğlu İlçesinde pilot amaçlı 4 adet kuyu içi tilt ölçüm istasyonu ile kabuk deformasyonu çalışmaları başlatılmıştır.

#### **4- Yer büyüme etkisini ölçmeye dayalı, yapay kaynaklı sismolojik ölçümler**

17 Ağustos İzmit depreminin merkez üssünden en az 100 km mesafede bulunmasına rağmen depremden ciddi bir şekilde etkilenen Avcılar (İstanbul) bölgesinde depremden sonra TÜBİTAK MAM tarafından gerçekleştirilen "yer büyüme etkisi" çalışmaları bu felaketin zemin koşulları ile yakından ilgili olduğunu ortaya koymuştur. Proje kapsamında ele alınacak üç bölgede (Marmara, DAFS ve EAS) yer alan yoğun yerleşim merkezlerinde (örneğin, İstanbul, Kocaeli, Yalova, Bursa, İzmir, Aydın, Adana, K.Maraş, Adıyaman, Elazığ, Bingöl gibi) zemin litolojisini temsil edecek alan ve noktalarda yer büyüme etkisinin "makro ölçekte yerleşime uygunluk haritalarının oluşturulmasında ve meydana gelecek yakın deprem sırasında afet koordinasyon biriminin hızlı hasar tahminlerinde kullanabilmesi amacı" ile ölçüm yolu ile yer büyüme etkisi çalışılmış ve yine zemin litolojisi bazında haritalanmıştır. Bu çalışmada yapay kaynak kullanımı ile farklı litolojileri temsil edilen noktalara konuşlandırılan sismometre dizinleri sayesinde yer büyüme etkisi tespit edilmiş ve haritalanmıştır.

#### **5- Tüm verilerin, veri kontrolü sonrası, CBS veri tabanına aktarılması - anlık izlenmesi- ve veri bazlı kabuk deformasyon modellemesinin sürekli yapılması**

Proje kapsamında toplanan çok disiplinli veriler büyük bir çoğunluğu (radon gazı, su kaynakları gözlem, mikrosismoloji, tilt, strain gibi) günlük toplanmakta ve grafiklenerek değerlendirilmektedir. Verilerin kalite kontrolünün tamamlanmasından ve ön değerlendirmelerinin sonuçlandırılmasından sonra, toplanan veriler, sorgulanabilir Coğrafi Bilgi Sistemleri veri tabanına işlenmektedir. Oluşturulan bu veri tabanı günlük güncelleştirilmekte ve tüm katılımcı kurum, kuruluş ve üniversitelere açık halde tutulmaktadır.

#### **6- Radon ölçüm tekniklerinin ve amaç odaklı yeni ölçüm sensörlerinin geliştirilmesi ve ticari uygulamalara altlık oluşturulması**

Yukarıda belirttiği gibi TÜBİTAK MAM'ın Marmara Bölgesindeki özellikle radon gazı ölçüm deneyimlerinden ortaya çıkan durum mevcut teknolojinin zor arazi ve toprak koşullarında güvenilir ölçüm yapmaya pek elverişli olmadığı yönündedir. Ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi konusunda bir çok husus olduğu ve bunların bu proje kapsamında gerçekleştirilebileceği ve başarı durumunda Dünya'da bu anlamda ölçüm teknolojisine bir katkı sağlanacağına inanılmaktadır. Bunun bir örneği TÜBİTAK MAM'ın MİDAS adını verdiği sismik kayıtçayı kendi imkanları ile ithal fiyatının 3'te 1'ine üretmesi ve uzun yıllardır bu sistemden en az 20 tanesini kullanıyor olmasıdır. Buna ek olarak, oldukça hacimli verilerin arazi koşullarında pratik ve nispeten ucuz saklanabilmesini teminen kayıtçıların oluşturulması (bu bağlamda TÜBİTAK MAM'da şimdilik küçük hacimli veri için oldukça ucuz ve pratik bir kayıtçı geliştirilmiştir) önem arz etmektedir. Buna ek olarak bir çok istasyondan oluşan gözlem ağlarından hızlı, güvenilir ve maliyeti düşük sistemlerle verilerin merkeze ulaştırılması kapsamında teknoloji geliştirmeye uygun geniş yelpazede bir alan mevcuttur. Bu proje sayesinde halihazırda TÜBİTAK MAM'ın işbirliklerinin verimli sonuçlar verdiği çözüm ortağı teknoloji firmalarının desteği ile bunların geliştirilmesi ve ulusal ve uluslararası teknolojiye katkı sağlanması hedeflenmektedir.

#### **YÖNTEM:**

Bu proje kapsamında ülkemizin deprem açısından jeostratejik öneme sahip üç ayrı bölgesinde ayrı ayrı ancak bütünleyici şekilde çok disiplinli çalışmalar yürütülecektir. Çalışılacak bölgeler, Kuzey Anadolu Fay Sisteminin (KAFS) Batı (Marmara) ve Doğu (Amasya-Erzincan arası) kesimleri, Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) ve Ege Açılma Sistemi (EAS) kapsamaktadır. Her bir bölgede yapılacak çalışmalar, yerel üniversitelerin katkısını ve işbirliğini öngörmekte böylece ulusal ölçekte sinerji yaratmayı, bilgi paylaşımını ve yaygınlaştırılmasını hedeflemektedir. Yapılacak çalışmalar bölgesel bazda aşağıda listelenmiştir:

#### **A1- Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Batı kesimlerinde (KAFS, Marmara Bölgesi) Uygulanan Yöntemler**

1. Karada Yüksek Duyarlı Sismolojik Gözlemler (makro ve mikro sismoloji)

2. Jeokimyasal (Radon gazı ve kaynak suyu) Gözlemler
3. Depreme yol açan kabuk deformasyonlarının GPS, InSAR, mikrogravite, tilt ve strain ölçerlerle izlenmesi
4. Yer büyüme etkisini ölçmeye dayalı, yapay kaynaklı sismolojik ölçümler
5. Tüm verilerin, veri kontrolü sonrası, CBS veri tabanına aktarılması - anlık izlenmesi- ve veri bazlı kabuk deformasyon modellemesinin sürekli yapılması
6. Radon ölçüm tekniklerinin ve amaç odaklı yeni ölçüm sensörlerinin geliştirilmesi ve ticari uygulamalara altlık oluşturulması

#### A2- Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Doğu kesimlerinde (KAFS, Amasya- Erzincan arasında) Uygulanan Yöntemler

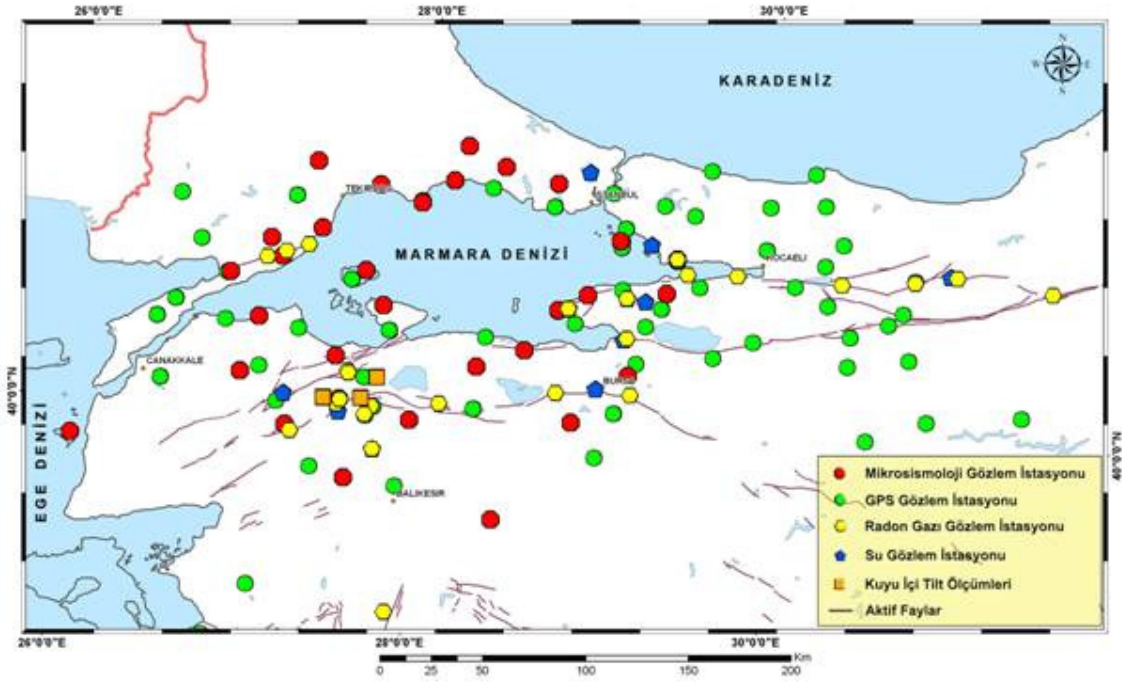
1. Jeokimyasal (Radon gazı ve kaynak suyu) Gözlemler
2. Depreme yol açan kabuk deformasyonlarının GPS, InSAR, mikrogravite gözlemleri
3. Tüm verilerin, veri kontrolü sonrası, CBS veri tabanına aktarılması - anlık izlenmesi- ve veri bazlı kabuk deformasyon modellemesinin sürekli yapılması

#### B- Doğu Anadolu Fay Sistemini (DAFS) içeren bölgede Uygulanan Yöntemler

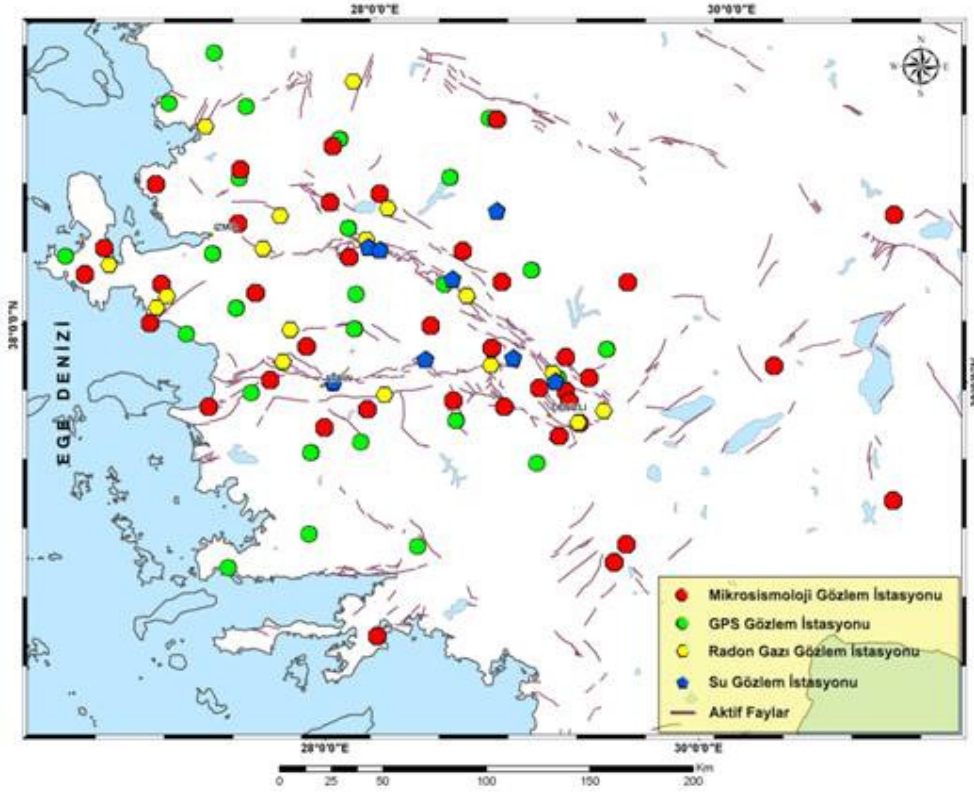
1. Karada Yüksek Duyarlı Sismolojik Gözlemler (makro ve mikro sismoloji)
2. Jeokimyasal (Radon gazı ve kaynak suyu) Gözlemler
3. Depreme yol açan kabuk deformasyonlarının GPS, InSAR, mikrogravite, tilt ve strain ölçerlerle izlenmesi
4. Yer büyüme etkisini ölçmeye dayalı, yapay kaynaklı sismolojik ölçümler
5. Tüm verilerin, veri kontrolü sonrası, CBS veri tabanına aktarılması - anlık izlenmesi- ve veri bazlı kabuk deformasyon modellemesinin sürekli yapılması

#### C- Ege Açılma Sistemini (EAS) içeren bölgede Uygulanan Yöntemler

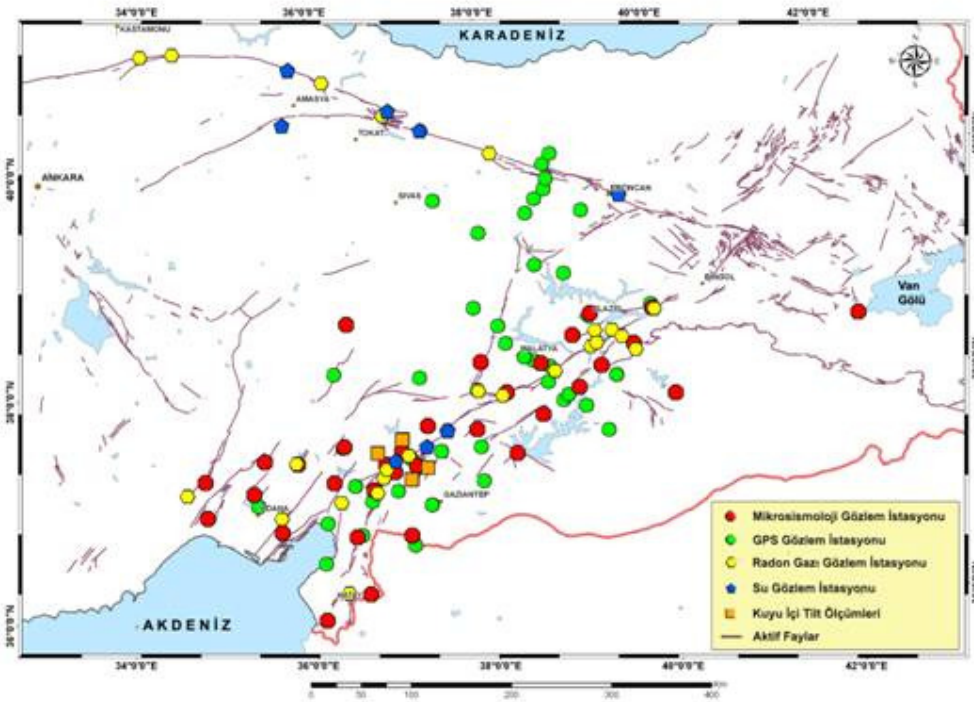
1. Karada Yüksek Duyarlı Sismolojik Gözlemler (makro ve mikro sismoloji)
2. Jeokimyasal (Radon gazı ve kaynak suyu) Gözlemler
3. Depreme yol açan kabuk deformasyonlarının GPS, InSAR ve mikrogravite ölçerlerle izlenmesi
4. Yer büyüme etkisini ölçmeye dayalı, yapay kaynaklı sismolojik ölçümler
5. Tüm verilerin, veri kontrolü sonrası, CBS veri tabanına aktarılması - anlık izlenmesi- ve veri bazlı kabuk deformasyon modellemesinin sürekli yapılması



Şekil 2. Proje kapsamında Marmara Bölgesinde çok parametrelili sürekli gözlemlerin yapıldığı noktalar.



Şekil 3. Proje kapsamında Ege Açılma Sistemi Bölgesinde çok parametrelili sürekli gözlemlerin yapıldığı noktalar.



Şekil 4. Proje kapsamında Doğu Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerinde çok parametrelili sürekli gözlemlerin yapıldığı noktalar.